

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PENCUCIAN MOBIL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI MEMBRAN ULTRAFILTRASI BERPORI 10 DAN 25 KDA

Adenira Hargianintya . Heru Susasanto*) . Wiharyanto Oktiawan**)

email : nirahargi@gmail.com

Abstract

The car-wash wastewater has proportion of Turbidity, COD and Oil that exceeds the minimum standard quality and can cause considerable impacts to polute the environment if they are not processed in well manner. The wastewater treatment with ultrafiltration membrane technology has been selected for this reasearch due to the advantages embeded along with it. Furthermore, this research has been conducted to analyze the effects of pore (PES Membrane (Poly Ether Sulfone) 10 Da and PS (Polysulfone) 25 kDa) on certain pressure (1,2,3 Bar) to calculate the performance of membrane that being stated with flux and the membran ability to reduce the proportion of turbidity, COD and oil in wastewater. Based on this research, all variations show insignificant differences in the parameters, and the result from those variations meet the standard quality for domestic waste which aligned with Central Java Regional Law No. 5/2012. The most optimum condition is processing the wastewater with Membrane PS25 at 1 Bar pressure, by reason this variation has a larger pore than a membrane PES10. As a result, it has higher value of flux and requires small amount of energy because it is operated at low pressure, thus it makes the cost is in low-level. The rejection on membrane PS25 with 1 Bar pressure is 93,37% (Turbidity), 78,69% (COD) and 84,62% (Oil).

Keywords : *membrane, ultrafiltration, Carwash*

1. PENDAHULUAN

Menjamurnya usaha Pencucian Mobil di Indonesia adalah fenomena yang menarik. Semakin banyak mobil yang digunakan, maka usaha pencucian mobil merupakan peluang bisnis yang menjanjikan. Pemakaian air bersih pada usaha pencucian mobil adalah sekitar 4350 L/hari dengan asumsi terdapat 40 mobil yang dicuci setiap harinya (Hakim,2010). Seluruh air bersih yang digunakan dalam proses pencucian, akan menjadi air limbah yang selanjutnya dibuang ke lingkungan.

Air limbah yang dihasilkan oleh usaha pencucian mobil ini apabila langsung dibuang ke badan air atau saluran air akan menyebabkan pencemaran pada badan air yang dikarenakan oleh kandungan detergent atau surfaktan ionik dan minyak yang terkandung dalam air limbah pencucian mobil tersebut. Kandungan detergent atau surfaktan ionik dan minyak yang tinggi pada badan air akan menyebabkan penurunan kualitas badan air dan menimbulkan bau yang tak sedap, hal ini

disebabkan oleh sifat detergent dan minyak yang sulit terurai sehingga menyebabkan penurunan *self purification* badan air tersebut.

Saat ini, beberapa usaha pencucian mobil sudah menerapkan pengolahan untuk limbah yang dihasilkan diantaranya adalah proses elektrokoagulasi- flotasi (Butler,2011), klorinasi (Zaneti,2011) dan Koagulasi-flokulasi secara Batch (Hakim,2010). Namun, pengolahan tersebut memiliki beberapa kelemahan diantaranya belum dapat menyisihkan kandungan COD, minyak dan senyawa organik secara optimal.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka diperlukan teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah limbah pencucian mobil. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi membran ultrafiltrasi. Menurut Susanto,2011, membran merupakan lapisan tipis diantara dua fase yang selektif (semi-permeable) berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul serta mengontrol perpindahan

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Univeristas Diponegoro

komponen pada dua kompartemen. Penelitian ini menggunakan membran ultrafiltrasi PES10 dan PS25 yang terbuat dari poly(ether)sulfone dan polysulfone 10 kDa dan 25 kDa.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat rejeksi parameter kekeruhan, COD dan minyak pada limbah pencucian mobil menggunakan teknologi membran ultrafiltrasi pori 10 kDa dan 25 kDa serta untuk mengetahui kondisi operasi optimal dalam mengolah limbah dengan aplikasi teknologi tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah air limbah pencucian mobil dengan karakteristik seperti Tabel 1, kertas saring, dan membran ultrafiltrasi dengan spesifikasi seperti Tabel 2

Tabel 1 Karakteristik Air Limbah Pencucian Mobil

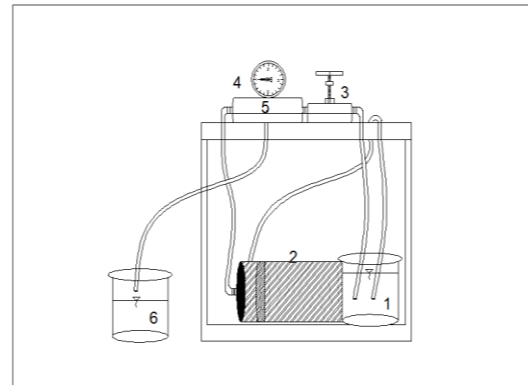
Parameter	Konsentrasi
COD (mg/L)	700
Kekeruhan (NTU)	186,6
Minyak lemak (mg/L/)	36

Tabel 2 Spesifikasi Membran

	PS50	PS100
Polimer	Poly(Ether)Sulfone	Polysulfone
Pori	10	25
(MWCO, kilodalton)	1-13	
Range pH	0-75	1-13
Temperatur ($^{\circ}$ C)	1-5	0-75
Tekanan (bar)		1-5

2.2 Alat

Alat yang digunakan diantaranya adalah COD reaktor (HACH dengan ketelitian 0,001), spektrofotometer (*Thermo Scientific* dengan ketelitian 0,001), turbidimeter, corong pisah, neraca analitik, dan unit membran seperti Gambar 1



Gambar 1 Skema unit membran dengan operasi cross-flow

Keterangan:

1. Sampel air limbah Pencucian Mobil dalam gelas beker 1000 ml
2. Pompa Reverse Osmosis dengan Spesifikasi
Nominal Flow Rate : 1.0 LPM
Max Pump output : 110 Psi
Max Inlete Pressure : 60 Psi
Voltage : 24 VDC
3. Pengatur Tekanan
4. Manometer Tekanan
5. Tempat peletakan membran untuk dilakukan pengujian.
6. Permeat (hasil pengolahan dengan membran)

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan membran Ultrafiltrasi (UF) komersial jenis Polyeteesulfon (PES) dan Polysulfon (PS) dengan ukuran pori 10 kDa dan 25 kDa pada tekanan 1, 2, 3 Bar. Membran ini didapat dari Alfa Laval, Sweden dan dicetak dengan ukuran diameter 4,22 cm lalu dilakukan kompaksi selama 30 menit untuk menstabilkan pori dan struktur membran.

Prefiltrasi menggunakan kertas saring dilakukan sebelum limbah masuk ke dalam unit membran. Hal ini bertujuan untuk mengurangi jumlah padatan tersuspensi yang dapat meningkatkan terjadinya penyumbatan membran. Penelitian dilaksanakan secara *cross flow filtration* dan dilakukan selama 3 jam dengan waktu pengambilan permeat setiap 15

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Univeristas Diponegoro

menit untuk diukur permeabilitasnya dengan rumus :

$$J = \frac{V}{A \times t}$$

Dimana V adalah volume permeat (liter), A adalah luas permukaan membran (m²), waktu (jam).

Selanjutnya dihitung juga rejeksi COD, kekeruhan, dan minyak lemak dari permeat yang dihasilkan dengan rumus :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana C_p adalah konsentrasi zat terlarut dalam permeat dan C_f adalah konsentrasi zat terlarut dalam umpan.

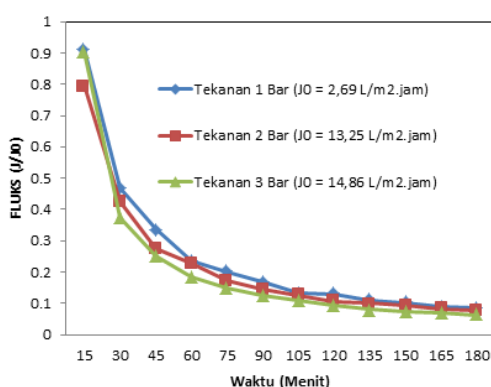
2.4 Metode Analisis

Analisis COD umpan dan permeat menggunakan spektrofotometer analisis kekeruhan menggunakan turbidimeter portable dan analisis minyak lemak menggunakan metode gravimetri dengan corong pisah

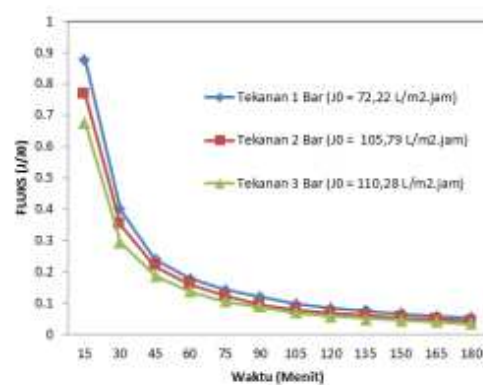
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Fluks Umpan

Profil fluks umpan berupa air limbah pencucian mobil saat melewati dua jenis membran yang berbeda disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



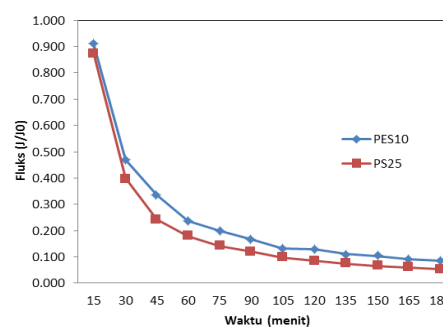
Gambar 2 Profil Fluks (J/J0) Pada Filtrasi Menggunakan Membran PES10



Gambar 3 Profil Fluks (J/J0) Pada Filtrasi Menggunakan Membran PS25

Dari kedua gambar diatas terlihat bahwa penambahan tekanan berpengaruh terhadap penurunan fluks. Semakin tingginya tekanan, memungkinkan umpan akan melewati membran secara cepat dan semakin banyaknya foulan yang terakumulasi pada permukaan membran maupun struktur membran sehingga menyebabkan penyumbatan pori yang lebih cepat dibandingkan pada tekanan rendah (Zhou,2010).

Proses pengayakan/*sieving mechanism* terjadi selama proses pengolahan limbah menggunakan unit membran yang menyebabkan umpan terpisah berdasarkan ukuran sesuai dengan ukuran pori membran yang digunakan. Gambar 4 menunjukkan profil fluks umpan yang dipengaruhi oleh ukuran pori membran.



Gambar 4 Pengaruh Pori Membran terhadap Fluks pada Tekanan 1 Bar

Membran PES10 memiliki *Molecular Weight Cut Off* (MWCO) yang lebih kecil sehingga kinerja membran ini lebih baik dalam proses pemisahan solute/umpan dibandingkan membran PS25. Semakin besar pori, membran dapat meloloskan partikel atau zat terlarut semakin banyak, sehingga terbentuknya

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Univeristas Diponegoro

fouling akibat terdosisnya partikel pada membran akan semakin cepat. Fenomena ini sesuai dengan penelitian (Dizge *et al.*,2010) bahwa ukuran pori yang berbeda dapat mempengaruhi nilai fluks yang dihasilkan.

Lamanya waktu operasi juga mempengaruhi jumlah fluks yang dihasilkan. Semakin lamanya waktu, maka fluks yang dihasilkan akan semakin kecil. Menurut Mulder (1996), hal tersebut disebabkan oleh *fouling* yang termasuk didalamnya konsentrasi polarisasi, adsorpsi, formasi pembentukan lapisan gel, dan penyumbatan pori.

3.1 Rejeksi Membran

Kinerja membran juga ditentukan oleh kemampuan rejeksi terhadap beberapa parameter yaitu kekeruhan, COD, dan minyak lemak.

a. Kekeruhan

Umpam air limbah pencucian mobil memiliki nilai parameter kekeruhan sebesar 183,9 NTU. Pretreatment atau prefiltrasi perlu dilakukan apabila nilai kekeruhan umpam diatas 10 NTU dan dilakukan untuk mengurangi konsentrasi padatan terlarut sebelum memasuki unit membran (Joseph and Roger in AWWA Manual,2005). Nilai parameter kekeruhan setelah melewati prefiltrasi sebesar 6,63 NTU. Nilai parameter kekeruhan umpam dan permeat setelah diolah dengan unit membran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rejeksi Kekeruhan Pada Membran PES10 dan PS25 dengan Variasi Tekanan

Membran	Tekanan (bar)	Kekeruhan (NTU)	Rejeksi (%)
PES10	1	0.22	96.69
	2	0.25	96.23
	3	0.23	96.54
PS25	1	0.44	93.37
	2	0.52	92.17
	3	0.56	91.57

Berdasarkan hasil penelitian, membran ultrafiltrasi mampu menghasilkan permeat/produk dengan nilai kekeruhan yang rendah. Pori membran juga berpengaruh terhadap rejeksi parameter kekeruhan.

Membran PS25 memiliki tingkat rejeksi yang lebih rendah dibandingkan membran PES10 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Lau,2013. Hal ini disebabkan membran PS25 memiliki ukuran pori yang lebih besar sehingga belum dapat melakukan proses pengayakan/*sieving mechanism* secara optimal untuk menahan partikel yang terdapat dalam umpam dibandingkan dengan membran PES10.

Faktor lainnya yang mempengaruhi tingkat rejeksi parameter kekeruhan adalah tekanan. Penurunan tingkat rejeksi yang terjadi pada Membran PES10 (2 Bar) dan Membran PS25 (2-3 Bar) disebabkan oleh terjadinya penambahan gaya dorong terhadap umpam untuk melewati pori membran mengakibatkan permeat mengalami penambahan jumlah konsentrasi zat terlarut dan terjadi penurunan tingkat rejeksi. Hal ini sesuai dengan penelitian (Ahmad,2005) bahwa semakin tinggi tekanan operasi akan menyebabkan rejeksi parameter semakin rendah.

b. COD

Nilai COD pada umpam adalah sebesar 700 Mg/L .Prefiltrasi menggunakan kertas saring mampu mengurangi kandungan COD dalam umpam menjadi 203,3 mg/L dan masih melebihi baku mutu sehingga perlu dilakukan pengolahan lanjutan menggunakan unit membran.

Tabel 4 memperlihatkan rejeksi COD untuk membran PES10 dan PS25 pada tekanan operasi 1, 2, 3 bar

Tabel 4 Rejeksi COD Pada Membran PES10 dan PS25 dengan Variasi Tekanan

Membran	Tekanan (bar)	COD (Mg/L)	Rejeksi (%)
PES10	1	33,33	83,61
	2	40	80,33
	3	36,67	81,97
PS25	1	43,33	78,69
	2	50	75,41
	3	63,33	68,85

Dari hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa ukuran pori yang dinyatakan dalam *Molecular Weight*

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Univeristas Diponegoro

Cut Off (MWCO) berpengaruh dalam penyisihan parameter COD. membran PES10 memiliki tingkat rejeksi parameter COD lebih tinggi dibandingkan membran PS25 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Boussu,2007) bahwa semakin kecil ukuran pori maka tingkat rejeksi parameter COD akan meningkat. Hal ini disebabkan zat organik yang berukuran lebih besar dibandingkan pori membran akan tertahan pada pori membran sehingga kandungan zat organik dalam permeat berkurang.

Faktor lain yang mempengaruhi tingkat rejeksi parameter COD adalah tekanan. Kenaikan tingkat rejeksi pada membran PES10 tekanan 3 bar disebabkan oleh penambahan tekanan mengakibatkan semakin cepatnya terbentuk fouling pada permukaan dan struktur membran sehingga dapat memperkecil ukuran pori membran dan meningkatkan kemampuan membran untuk merejeksi parameter COD (Widyasmara, 2013). Tingkat rejeksi yang menurun seiring dengan penambahan tekanan dapat dikarenakan pada saat penambahan tekanan, proses terjadinya pengecilan pori pada permukaan dan pori membran menjadi terhambat sehingga menurunkan kinerja membran dalam proses pengayakan (*sieving mechanism*) (Syarfi,2007).

c. Minyak dan Lemak

Tabel 5 menunjukkan nilai parameter minyak dalam permeat dari variasi tekanan dan pori membran. Kandungan minyak di dalam umpan adalah sebesar 36 Mg/L. Pada tahap pre-filtrasi dengan menggunakan kertas saring, kandungan parameter minyak untuk dijadikan umpan yaitu sebesar 26 mg/L.

Tabel 5 Rejeksi Minyak Pada Membran PES10 dan PS25 dengan Variasi Tekanan

Membran	Tekanan (bar)	Minyak (Mg/L)	Rejeksi (%)
PES10	1	0	100
	2	1	96,15
	3	2	92,31
PS25	1	4	84,62
	2	5	80,77
	3	6	76,92

Membran PES10 memiliki ukuran pori yang lebih kecil yaitu 10 kDa sehingga dapat melakukan proses pemisahan lebih baik dibandingkan dengan ukuran pori 25 kDa. Membran PES10 dan PS25 disusun dari polimer yang bersifat hidrofobik (tidak suka air) yaitu PES (*Poly(ether Sulfone)*) dan PS (*Polysulfone*). Polimer membran yang bersifat hidrofobik sering digunakan dalam proses pengolahan air limbah dikarenakan sifat hidrofobik ini memiliki interaksi yang sangat kuat dengan komponen zat terlarut didalam umpan seperti kandungan minyak dibandingkan interaksi dengan air. Terjadinya interaksi Tarik menarik (adsorpsi) inilah yang menyebabkan kandungan minyak dalam permeat menjadi berkurang dan dapat menimbulkan *fouling*.

Berdasarkan hasil penelitian, faktor tekanan juga mempengaruhi tingkat rejeksi parameter minyak. Penurunan tingkat rejeksi seiring dengan peningkatan tekanan dapat disebabkan komponen minyak memiliki daya lebih untuk melewati membran sehingga kandungan minyak menjadi lebih tinggi pada permeat dan menurunkan tingkat rejeksi. Fenomena ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Williams and Wakeman,2000) bahwa pada saat dilakukan penambahan tekanan yang melebihi tekanan kapiler, maka kandungan minyak dalam air akan dengan mudah lolos melewati membran.

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Univeristas Diponegoro

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

- 1) Perbedaan pori membran (10 kDa dan 25 kDa) serta tekanan operasi (1-3 Bar) mempengaruhi tingkat rejeksi yang dihasilkan pada parameter yang diujikan. Tingkat rejeksi untuk parameter kekeruhan sebesar 91,57%-96,69%, COD sebesar 68,85%-83,61%, dan minyak sebesar 80,77%-100%
- 2) Kondisi operasi optimal untuk mengolah limbah pencucian mobil adalah dengan menggunakan membran PS25 pada tekanan 1 Bar.

4.2 Saran

Penelitian ini memberikan pengetahuan dasar untuk potensi teknologi membran untuk pengolahan limbah pencucian mobil. Namun demikian, agar dapat diaplikasikan dalam skala komersial, diperlukan perhitungan penelitian dalam skala pilot.

DAFTAR PUSTAKA

- <http://www.epa.state.il.us/small-business/car-wash/> diakses pada 20 Juni 2014
- <http://www.johnmeunier.com/en/files/?file=980> diakses pada 20 Juni 2014
- <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Effluent> diakses pada 20 Juni 2014
- Ahmad, A.L. **Ultrafiltration Behavior in the Treatment of Agro- Industry Effluent: Pilot Scale Studies**. Thesis, University Sains Malaysia. 2005
- Alaerts, G. dan Santika, Sri Sumestri. **Metode Penelitian Air**. Usaha Nasional : Surabaya. 1984.
- American Membrane Technology Association. **Membrane Filtration (MF/UF)**. Stuart, Florida. 2007.
- Annisartiyan. 2010. **Penurunan COD, TSS dan Minyak Lemak pada Limbah Cair Pencucian Mobil dengan Unit Pengolahan Trickling Filter** diakses dari <http://www.scribd.com/doc/130729956/> pada tanggal 20 Juni 2014
- Boussu, K. **Applicability of Nanofiltration in Carwash Industry**. Separation and Purification Technology 54 (2007) 139-146
- Buttler, Erick. **Electrocoagulation in Waste Water Treatment**. Water 03 (2011) 495-525
- Chellam, Shankar., Zander, Amy. **Membrane Science and Theory**. AWWA Manual Chapter 3 (2005) Page.46
- Chen, Y., Dong, B.Z., Gao, N.Y., Fan, J.C. **Effect of coagulation pretreatment on fouling of an ultrafiltration membrane**. Desalination 204 (2007) 181-188.
- Chrisafitri, Adistya. **Pengolahan Limbah Pencucian Mobil Menggunakan Reaktor Saringan Pasir Lambat dan Karbon Aktif**. ITS Surabaya. 2013.
- Dizge, Nadir, Gulfem Soydemir, dkk. **Influence of type and pore size of membranes on cross flow microfiltration of biological suspension**. Membrane Science 366 (2011) 278-285
- Effendi, H. **Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan**. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 2003.
- Evy., Anis., Agustin. **Penurunan COD, TSS dan Minyak Lemak Pada Limbah Cair Pencucian Mobil Dengan Unit Pengolahan Trickling Filter**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang : Malang. 2013.
- G. Jacangelo, Joseph., K. Noack Roger. **System Concepts**. AWWA Manual Chapter 4 (2005) Page : 166.
- H. Nuijten. **Water and The Properties Of Water**. Netherlands. (2007) 11.
- Hadi, A. **Penurunan Konsentrasi Surfaktan dalam Limbah Cair Laundry dengan Adsorpsi Menggunakan Arang Batok Kelapa Komersil**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS : Surabaya. 2011.
- Hakim, Fadly Rachman. **Penelitian Pengolahan Limbah Jasa Pencucian Mobil Dengan Koagulasi-Flokulasi Secara Batch**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS : Surabaya. 2011.
- Hamada, Toyozo. **Reuse of carwash water with a cellulose acetate**

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

- ultrafiltration membrane aided by flocculation and activated carbon treatments.** Desalination 169 (2004) 257-267
- Huang, Jinhui dkk. **Influence of feed concentration and transmembrane pressure on membrane fouling and effect of hydraulic flushing on the performance of ultrafiltration.** Desalination. 33 (2014). 1-8.
Information Water Reuse. Diakses dari <http://www.ciwem.org/resources/water/reuse.asp> tanggal 20 Juni 2014
- Lau, W.J, **Car wash Industry in Malaysia : Treatment of Car Wash effluent using Ultrafiltration and Nanofiltration Membranes.** Separation and Purification Technology 104 (2004) 26-31.
- Mueller, J., Yanwei C., Robert H.D. **Crossflow microfiltration of oily water.** Journal of Membrane Science 129 (1997) 221-235.
- Mulder, M. **Basic Principle of Membrane Technology.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1996.
- Nugroho, Astri. **Bioindikator Kualitas Air.** Jakarta : Universitas Trisakti. (2006) 10-13.
- Notodarmojo, Suprihanto dan Anne Deniva. **Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End.** PROC. ITB Sains dan Teknologi, Bandung. 2004.
- Panpanit, S. **Separation of Water Emulsion From Carwashes.** Thesis, Asian Institute of Technology. 2000
- Safitri, I. Henny. **Teknologi Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Air Terproduksi (Produced Water).** Teknologi Kimia dan Industri 02 (2013) 205-211
- Sawyer, Clair N. **Chemistry for Environmental Engineering and Engineering Science (5th edition).** New York ; McGraw Hill Book. 2003
- Shete, S. Bharati, **Use of Membrane to Treat Car Wash Wastewater,** 01 (2014) 13-19
- Susanto, Heru. **Teknologi Membran.** Semarang: UPT UNDIP Press. 2011
- Syarfi, Syamsu Herman. **Rejeksi Zat Organik Air Gambut Dengan Membran Ultrafiltrasi.** Tugas Akhir Teknik Kimia Universitas Riau: Pekanbaru. Sains dan Teknologi 6 (2007) 1-4.
- Tchobanoglous, George and Franklin L. Burton. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse.** 4th ed. McGraw-Hill Book Co : Amerika. 2003
- Tahir I, 2008. **Penyediaan IPAL di Usaha Pencucian Kendaraan.** <http://iqmaltahir.wordpress.com/2008/09/05/penyediaan-ipal-di-usaha-pencucian-kendaraan/> diakses tanggal 20 Juni 2014
- Thermo Orion Method. **Chemical Oxygen Demand.** U.S.EPA for Wastewater Compliance Monitoring. Revision 5. 2005
- Tilche, Andrea, et al. **Membrane Technologies for Water Application.** Highlights from a selection of European research projects. 2010
- US Patent 3565256. Diakses dari <http://www.freepatentsonline.com> 20 Juni 2014
- US Patent 5294339. Diakses dari <http://www.freepatentsonline.com> 20 Juni 2014
- Wang, L., Wang, X., Fukushima, K. **Effects of operational conditions on ultrafiltration membrane fouling.** Desalination 229 (2008) 181-191.
- Widyasmara, Maria., Kusuma Dewi, Cindika. **Potensi Membran Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Limbah Cair Berminyak.** Teknologi Kimia dan Industri UNDIP. Vol 2. No.2 (2013) 295-307
- Williams, C. and Wakeman R. **Membrane Fouling and Alternative Techniques for its Alleviation.** Membr. Tech. 124 (2000) 4-10
- X, Hu. **Evaluation of Oil Concentration on the membrane Surface in Ultrafiltration of Oil-in-Water emulsion.** Hungarian Annual Meeting on Technical Chemistry, Veszprem, Hungary. (2002) 1-2

*) Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro

**) Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

- Zaneti, Rafael. **Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features.** Jurnal di www.elsevier.com/locate/resconrec. 2011
- Zhou, Nina. **Parametric Study Of Ultrafiltraion Membrane System and Development of Fouling Control Mechanism.** Thesis Master of Science in Engineering. Purdue University. Hammond, Indiana. (2010) Page :21

*) *Dosen Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Diponegoro*

**) *Dosen Program Studi Jurusan Teknik Lingkungan FT Univeristas Diponegoro*